カイラリティオーダー

東大・理　宮　下　精　二

フラストレーションのある系での秩序状態はその相互作用の競合を反映して空間的に広がった構造を持つことが多い。ここでは特に局在スピン系，$\mathscr{H}=\sum_{ij}J_{ij}\boldsymbol{S}_i\boldsymbol{S}_j$，の場合を考えるが$J_{ij}$に競合がある場合 Fourier 変換された相互作用$J(\boldsymbol{q})$の最小点$\boldsymbol{q}_{\min}$に応じてラセン構造が生じることはよく知られている。完全にフラストレートした系の代表である三角格子上の反強磁性体（Antiferromagnetic on the Triangular lattice, AFT）の秩序状態はK点と呼ばれる$\boldsymbol{q}_{\min}$（$=(\pm\frac{4}{3}\pi, 0)$）によって与えられる。この2状態は局所的には各々，スピンの±120°構造に対応する（図1）。系の秩序化の過程においてこの局所的な秩序構造の振舞が重要であることがわかってきた。[1)~4)] そこでこの構造を定量的に表わす量としてカイラリティ(chirality)なる量を次の様に定義した。[2)]

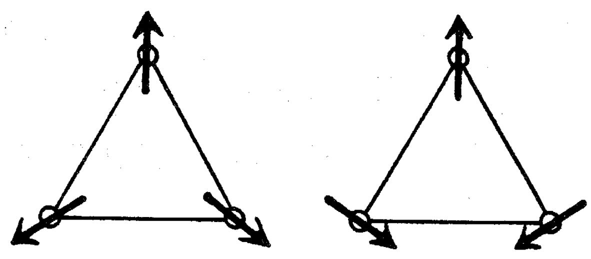

図1

$$\kappa(\boldsymbol{R})=\frac{2}{3\sqrt{3}}(\boldsymbol{S}_1\times\boldsymbol{S}_2+\boldsymbol{S}_2\times\boldsymbol{S}_3+\boldsymbol{S}_3\times\boldsymbol{S}_1), \tag{1}$$

ここで1，2，3は図1のように上向き三角形（場所$\boldsymbol{R}$）を構成する左まわりの格子点である。この$\boldsymbol{\kappa}$はスピンの作る120°構造に垂直なベクトルであり符号はその向きに対応している。スピン$\boldsymbol{S}$が平面的（XYあるいはplane rotator model）の場合には$\boldsymbol{\kappa}$は軸性スカラーであり$\{\boldsymbol{\kappa}(\boldsymbol{R})\}$は強磁性のIsingスピン系あるいは$\varphi^4$模型のように振舞いIsingスピン系と同様な相転移［比熱の対数発散，$<\kappa>$の自発的な対称性の破れ〜$(T_c-T)^{1/8}$］を示すことがわかっている。[2)] このカイラリティの対称性が破れるとスピン系は±120°構造のどちらをとるかが指定される。このようにフラストレーションのないXY模型（Kosterlitz-Thouless 転移）では見られなかったAFT−XY模型での強いIsing的な相転移はフラストレーションのために生じた局所的秩序（カイラリティ）の秩序化に帰着される。またスピン系がHeisenberg模型[3)]の場合には$\boldsymbol{\kappa}$は3次元ベクトルとなりそれ自身では秩序化しないがこの系のトポロジカルな励起であるZ_2 vortexはこの$\{\boldsymbol{\kappa}(\boldsymbol{r})\}$の配位によってよく視覚化できる。更にスピン系が1軸性の異方性を持

つ場合,[4] $(|J_x|=|J_y|<|J_z|)$ には $\boldsymbol{\kappa}$ は平面内 (xy 面) にあることがわかる。この場合には系は低温で実質的に $\boldsymbol{\kappa}$ の強磁性XY模型と見なすことができる。このように(1)で定義したカイラリティは連続スピン系のAFT模型でフラストレーションのために生じる実質的な秩序状態をよく表わし，系の相転移も $\{\boldsymbol{\kappa}\}$ の秩序化を通して考えることでよく理解できる。

カイラリティなる言葉は従来，場の理論で γ_5 の固有値を表わすものとし導入されている。[5] 今日それから拡張した意味でのカイラル対称性を持つもの (場の演算子の右変換，左変換に関して不変なもの) が場の理論でカイラル模型と呼ばれている。[6] それに対し物性では回転対称性を持つが反転対称性の破れた模型，たとえば

$$\mathscr{H}=\sum_i \boldsymbol{P}_{i+1}^{+}\begin{pmatrix} J_0 & J_1 & J_2 \\ J_2 & J_0 & J_1 \\ J_1 & J_2 & J_0 \end{pmatrix}\boldsymbol{P}_i\,,\quad \boldsymbol{P}_i=(p_i^1,\ p_i^2,\ p_i^3)$$

(3 state chiral model),[7] をカイラル模型と呼んでいる。ここでのカイラリティ $\boldsymbol{\kappa}$(1)はこれらのものとは直接関係ないことをことわっておく。しかしながら各々のカイラリティは共通のニュアンスを持っておりそれぞれの比較対照は興味深い考察であろう。

参 考 文 献

1) J. Villain: J. Phys. (France) **38** (1977) 385.
2) S. Miyashita and H. Shiba: J. Phys. Soc. Jpn. **53** (1984) 1145; 日本物理学会誌 **39** (1984) 582.
3) H. Kawamura and S. Miyashita, J. Phys. Soc. Jpn. **53** (1984) 9 及び **53** (1984) 4138.
4) S. Miyashita and H. Kawamura, ：発表準備中
5) S. Watanabe, Phys. Rev. **106** (1957) 1306.
6) L. W. Lee, *Chiral Dynamics,* Gordon and Breach (1972) New York (Documents on Modern Physics).
7) D. A. Huse, Phys. Rev. **B24** (1981) 5180.